

*Моим родителям, которые сделали все возможное, а также Натану
и Элизабет, которые помогли все это превратить в успех.*

КМБ

*Я хотел бы поблагодарить мою жену Джоанн и детей, Алекса, Брэндона
и Кэмерин за их любовь и поддержку. Я был бы неправ, не выразив также свою
сердечную благодарность доктору Майклу Малрою, который был моим учителем,
наставником и образцом для подражания, коллегой, а более всего —
лучшим другом.*

ФВС

*Моим родителям, мужу и всем моим наставникам и коллегам в Вирджиния
Мэйсон, особенно доктору Малрою, за всю их доброту и поддержку.*

СБМ

*Моей семье за терпение, но особенно всем коллегам, резидентам и врачам
в Вирджиния Мэйсон, создавшим и взрастившим традиции регионарной
анестезии, за мое обучение у них в течение многих лет.*

МФМ

Соавтор

Кэтлин Л. Ларкин

*Действующий ассистент профессора детского госпиталя
и регионального медицинского центра
Сиэтл, Вашингтон*

Предисловие

Местная анестезия, практическое руководство фактически является четвертым изданием «*Иллюстрированного практического руководства по местной анестезии*». Эта книга продолжает работу С. Мура, MD, автора второго основного текста по регионарной анестезии в Северной Америке. Книга доктора Мура оставалась ценным источником многие десятилетия после ее первого выхода в 1953 г. *Руководства по местной анестезии* стали попыткой продолжить традицию, заложенную им и департаментом анестезиологии в Вирджиния Мейсон, которая сохраняется до сих пор.

Первые сотрудники департамента могли и не подозревать, насколько распространится применение регионарной анестезии и насколько их видение преимуществ периоперационного лечения боли будет подтверждено множеством исследований и расширено последними достижениями в развитии оборудования и фармакологии. Местные анестетики длительного действия, особенно при использовании в сочетании с опиоидами для нейроаксиальной анальгезии и в виде инфузии к периферическим нервам, очевидно, обеспечивают прекрасное обезболивание в ближайшем и отдаленном послеоперационном периоде. Применение этих методик было обогащено и расширено разработкой новых и улучшенных игл, катетеров и устройств для локализации нервов.

Применение регионарных методик — наследие, достойное сохранения и развития. К сожалению, многие практикующие врачи не получают достаточно обширной подготовки по регионарным методикам во время резидентуры и не склонны использовать их преимущества в частной практике не будучи уверенными в успехе, а также под давлением факторов времени и продуктивности, доминирующих в современной медицинской среде. К счастью для всех нас, в Северной Америке появилось множество обучающих ресурсов, таких как Американское общество регионарной анестезии и лечения боли и множество медицинских центров, специализирующихся на регионарной анестезии. Более того, в настоящее время доступны весьма полезные атласы и исчерпывающие тексты. Спрос на них сохраняется, равно как и на прямые практические руководства, подобные предлагаемому. Эта книга сфокусирована на практических соображениях по выбору и применению регионарной анестезии и останавливается подробно на их клиническом применении наиболее эффективным образом.

Местная анестезия, практическое руководство не претендует на роль полного референтного источника. Мы не включили многие аспекты регионарной анестезии как искусства или науки и приносим извинения тем авторам и исследователям, которые обогатили наши знания, но чей специфический вклад не был упомянут. Эта книга не претендует на роль полного анатомического атласа. Однако мы надеемся, что как практическое руководство она поможет нашим навыкам и прибавит уверенности при выполнении регионарной анестезии, став эффективной для наших пациентов.

Изменения формата и содержания четвертого издания очевидны. С увеличением объема знаний в области регионарной анестезии необходимость участия еще нескольких авторов стала неизбежной. Это без сомнения привело к некоторым повторам в главах и некоторым различиям стилей повествования. Тем не менее мы старались выдержать стабильный и сбалансированный подход на протяжении всего текста. Для облегчения чтения и большей информативности текст был представлен в схематичном формате. Для повышения иллюстративности ряд рисунков был увеличен, добавлены новые и пересмотрены старые, почти все они представлены в полной цветовой гамме.

Самое важное — содержание было адаптировано к современной практике. Мы отказались от глав, посвященных акушерской анестезии и лечению хронической боли, так как эти области разрослись настолько, что требуют отдельного рассмотрения, и несколько текстов на эти темы уже доступны. Такой отказ позволил значительно шире изложить последние достижения в локализации нервов, особенно с применением ультразвука. Хотя новая методика все еще не проста и недостаточно экономична, чтобы вытеснить другие способы, она имеет существенные преимущества при локализации нервов и безопасности, что побудило нас привлечь к ней внимание. Мы надеемся, что читатели найдут ее полезной и обладающей преимуществами для их практической работы.

Хотя за материал данного текста отвечают четыре автора, мы не можем не упомянуть и других, внесших свой вклад, особенно коллег из медицинского центра Вирджиния Мейсон, которые продолжают вдохновлять и поддерживать каждого из нас в нашей практической деятельности в области регионарной анестезии. Эта группа специалистов подала множество идей по методикам и их применению, и мы надеемся, что такая поддержка продолжится в будущем. Речь идет о наших резидентах и коллегах хирургах, которые постоянно стимулируют совершенствование наших методик, стандартизацию наших процедур и разделяют их с нами в обучающем формате. Мы благодарны им всем. Наша особая благодарность доктору Кэтлин Ларкин из медицинского центра детского госпиталя в Сизтле за ее доброжелательную рецензию главы по регионарной анестезии в педиатрии. И конечно, эта книга не могла бы попасть в печать без постоянного редакторского участия Грэйс Капуто из Давтэйл Контент Солюшн и Бриана Брауна из Липпинкотт Вильямс и Вилкинс. Мы также признательны Дженнифер Смит за ее опыт и проницательность при усовершенствовании художественного оформления. Но, безусловно, мы в долгу и более всего благодарны терпению и пониманию наших семей, которые поддерживали нас в долгие часы дополнительной работы, сделавшей это издание возможным.

Мы надеемся, что *Местная анестезия, практическое руководство* станет полезным и надежным руководством в вашей повседневной анестезиологической практике, что она побудит вас постоянно совершенствовать методики и применять их еще шире в периоперационном периоде для того, чтобы наши пациенты получили от анестезии и аналгезии все лучшее, что они могут им дать.

Майкл Ф. Малрой, MD

Предисловие

к предыдущему изданию

Это практическое руководство по регионарной анестезии предназначено как для студентов, так и для практикующих врачей. Оно о том, как выполнять типичные регионарные методики непосредственно в операционной. В нем содержится информация, обосновывающая показания к применению и цели использования этих методик. Представлены данные о фармакологии и физиологии, помогающие выбрать препарат и дозы, а также предотвратить типичные осложнения. В книге описаны методики, типично выполняемые на всех участках тела, с обсуждением их применения в таких специфических отраслях медицины, как педиатрия, акушерство и лечение боли. В практическом руководстве такого охвата, тем не менее, нет цели достижения энциклопедической глубины. Для получения исчерпывающей информации по обсуждаемым в данном тексте вопросам читателю следует обращаться к стандартным текстам и оригинальным исследованиям, перечисленным в списках литературы в конце каждой из глав.

Первые пять глав посвящены общим вопросам, следующие описывают конкретные процедуры. В первых главах, образующих вводный раздел, представлены сведения о премедикации, оснащении и типичных осложнениях, в дальнейшем о них упоминается лишь вкратце. Обсуждение специфических методик собрано в главы по аксиальным блокадам и методикам, включающим верхнюю и нижнюю конечности, голову и туловище. Кроме детального, шаг за шагом описания методик блокад, в каждой главе представлен краткий обзор анатомии соответствующих зон, специфических для них осложнений и особенностей использования препаратов. В последних главах рассматривается применение регионарных методик в педиатрии, акушерстве и при лечении хронической боли. В специальных изданиях эти методики описаны более детально, но практический врач, которому предстоит участвовать в лечении боли или выполнять регионарную анестезию детям, найдет в этих последних главах полезные (особенно новичкам) рекомендации.

Эта книга создана как практическое руководство при выполнении анестезии. Однако успешное применение регионарной анестезии требует чего-то большего, чем простая карта и расписание действий. Читателю, особенно начинающему врачу, прежде чем подойти к пациенту, настоятельно рекомендуется изучить анатомию по более подробным учебникам и атласам. Для успешного выполнения регионарной анестезии жизненно важны трехмерная визуализация и представление анатомии; полезно также изучение ориентиров на скелете или живой модели. До общения с пациентом важно ознакомиться с применяемыми препаратами и связанными с ними осложнениями.

Методики, описанные в этой книге, широко применяются в медицинском центре Вирджиния Мейсон. В случаях, когда доступны научные данные, подтверждающие преимущество каких-либо подходов или методик, они включены

в список литературы. Однако регионарная анестезия во многом остается искусством. Многие из описанных подходов все еще продиктованы личным опытом и предпочтениями. Даже в нашем департаменте есть существенные различия в выполнении типичных методик. Все индивидуальные вариации описать невозможно, но для любой области медицины была бы несчастьем практика, ориентированная на общепринятую «поваренную книгу». Искусство регионарной анестезии динамично, что находит отражение в появлении новых препаратов, оборудования и методик, включенных в новую редакцию. Без сомнения, нас ждет дальнейшее развитие.

Издание этого руководства было бы невозможно без участия и поддержки всего персонала департамента анестезиологии клиники Вирджиния Мейсон. Окончательный результат отражает вклад каждого сотрудника (что не обязательно означает полного согласия с ним всех остальных!). Резиденты и выпускники в течение многих лет вносили неоценимые предложения, по содержанию, мы учимся у своих студентов столько же, сколько они учатся у нас. Особая благодарность Линде Джо Райс, MD за ее вклад относительно применения регионарной анестезии в педиатрическом отделении, которого нет у нас в центре Вирджиния Мейсон, и Джеймсу Хелману, MD за его экспертное мнение по лечению хронической боли. Я благодарю Айрис Николс за ее терпение и усердие при подготовке оригинальных иллюстраций к тексту и Дженнифер Смит за ее дополнения и изменения при оформлении этого издания. И наконец, я благодарю Крэга Перси, вдохновившего меня на это третье издание. Есть надежда, что наши усилия привели к созданию руководства, которое поможет как начинающим, так и выпускникам повысить свой уровень знаний в регионарной анестезии.

Майкл Ф. Малрой, MD

Глава 1

Местные анестетики

Кристофер М. Бернардс

I. История

К местным анестетикам относятся соединения, вызывающие обратимый блок потенциалов действия нерва. Ряд соединений со свойствами местных анестетиков существуют в природе, включая кокаин и эугенол, добываемые из растений, сакситоксин, получаемый из водорослей (динофлагелляты), и тетродотоксин, извлекаемый из некоторых видов рыб семейства *Tetraodoniformes* (хотя на самом деле это токсин, продуцируемый бактерией *Pseudoalteromonas* внутри рыб). Нет сомнений в том, что первобытные люди использовали их столетиями, но сообщение о первом применении препарата в качестве местного анестетика относится к 1884 г., когда немецкий врач Карл Коллер применил кокаин, о котором узнал от Зигмунда Фрейда, для топической анестезии в офтальмологии.

В связи с потенциальной токсичностью кокаина химики попытались синтезировать заменитель кокаина еще в начале 1890-х годов. Результатом этих попыток стал синтез прокаина Эйнгорном с соавторами в 1905 г. Все местные анестетики, доступные в настоящее время для регионарной анестезии, являются более эффективными вариантами прокаина.

II. Химические свойства

- A. Структура.** Все местные анестетики, применяемые для блокад нервов, состоят из гидрофобного ароматического кольца, соединенного с третичной аминогруппой углеродной цепочкой (рис. 1.1). Длина углеводородной цепочки варьирует от 6 до 9 Å; препараты, цепочка которых длиннее или короче, неэффективны. У бензокаина, применявшегося только для топической анестезии, нет третичной аминогруппы, и он не имеет водорода, который заменяется при физиологическом pH ($pK_a = 3,5$).
- B. Эфиры и амиды.** Местные анестетики делятся на эфиры и амиды в зависимости от того, присоединена ли углеродная цепочка к бензольной части эфирной или амидной связью (рис. 1.1). Тип связи важен для определения того, по какому пути пойдет метаболизм препарата (см. гл. 2 [Раздел VII]).
- B. Изомеры.** Многие местные анестетики имеют по крайней мере один асимметричный атом углерода и, таким образом, существуют в виде двух или более энантиомеров. Большинство из них применяются клинически в виде рацемических смесей, содержащих оба энантиомера. Исключение составляют ропивакаин и левобупивакаин: они поставляются в виде одного энантиомера, поскольку в клинической практике он действует сильнее и менее токсичен, чем рацемат.

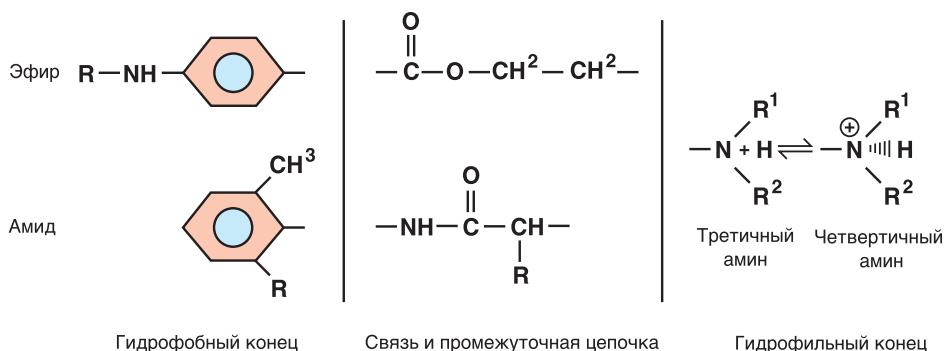


Рис. 1.1. Типичная структура молекул местных анестетиков эфиров и амидов

III. Физико-химические свойства

А. Кислота-основание. Поскольку третичные аминогруппы могут связывать протон, чтобы стать позитивно заряженным четвертичным амином (рис. 1.1), все местные анестетики (за исключением бензокаина) существуют в виде слабой пары кислота-основание в растворе. Способность генерировать положительный заряд критически важна для блокады натриевых каналов (см. Раздел IV. Д)

1. Константа диссоциации pK_a (табл. 1.1). В растворе местные анестетики существуют как в незаряженной форме (основание), так и в положительно заряженной (кислота). Доля каждого из них в конкретном растворе или ткани зависит от pH раствора/ткани и его можно рассчитать по уравнения Гендерсона—Хассельбаха (Henderson—Hasselbalch):

$$pK_a = pH - \log [\text{основание}]/[\text{кислота}],$$

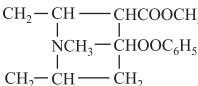

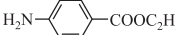
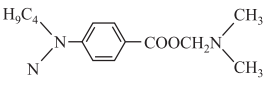
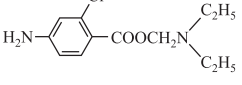
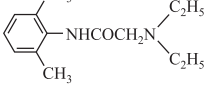
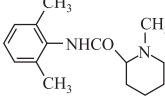
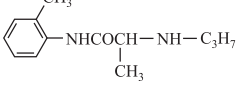
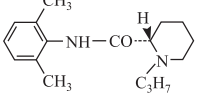
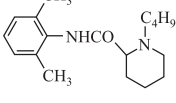
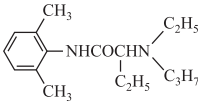
где pH — pH раствора или ткани и pK_a — pH при которой половина молекул местного анестетика присутствует в форме основания, и половина — в форме кислоты.

Значение pK_a уникально для каждого местного анестетика и определяет тенденцию молекулы присоединять протон, когда она находится в форме основания, или отдавать протон, когда она в форме кислоты. Большинство местных анестетиков имеют pK_a в диапазоне от 7,5 до 9,0.

Поскольку местные анестетики поставляются в несбуфферированном кислом растворе (pH = 3,5—5,0), в них от 1000 до 100 000 раз больше молекул в заряженной в форме, чем в незаряженной неионизированной (что способствует сохранности местного анестетика в растворе). Поскольку pH внеклеточных тканей равен приблизительно 7,4, при инъекции в ткани пропорция заряженных молекул под действием этого фактора снижается в 500—10 000 раз. Например, так как pK_a мепивакаина равна 7,6, в коммерчески доступном растворе с pH 4,6 должно быть в 1000 раз больше молекул в протонной форме (слабая кислота), чем в незаряженной. После инъекции в ткани с pH 7,4 многие заряженные молекулы мепивакаина должны «отдавать» свои протоны, и теперь заряженных будет больше, чем незаряженных, приблизительно в 1,6 раза. Как описано в разделе IV. Д, способность переходить из заряженной формы в незаряженную и обратно критически важна для действия местного анестетика.

Таблица 1.1

Физико-химические свойства местных анестетиков

Препарат (торговое название)	Тип (год выпуска)	Химическая структура	Относительная активность <i>in vitro</i>			
			Седативный нерв крысы	pK _a	Коэффициент распределения ^a	Связывание с белками плазмы
Кокаин	Эфир		—	8,6	—	92
Прокаин (Новокаин)	Эфир (1905)		1	8,9	1,7	5,8
Бензокаин	Эфир (1900)		—	3,5	81	—
Тетракаин (Понтокаин)	Эфир (1930)		8	8,5	221	75,6
2-хлоропрокаин (Несакаин)	Эфир (1952)		1	8,7	9,0	—
Лидокаин (Ксилокаин)	Амид (1944)		2	7,72	2,4	64,3
Мепивакаин (Карбокаин, Полокаин)	Амид (1957)		2	7,6	21	77,5
Прилокаин (Цитанест)	Амид (1960)		2	7,7	25	55
Ропивакаин (Наропин)	Амид (1995)		4	8,1	115	95
Бупивакаин (Маркаин, Сенсоркаин) Левобупивакаин (Хирокаин)	Амид (1963)		8	8,1	346	95,6
Этидокаин (Дуранест)	Амид (1972)		8	7,74	800	94

^a Октанол: буфер pH 7,4.(С разрешения из: Covino BG, Vasallo HG. *Local anesthetic: mechanism of action and clinical use*. New York: Grune & Stratton, 1976; deJong RH. *Local anesthetics*. St. Louis: Mosby — Year Book, 1993; Cousins MJ, Bridenbaugh PO. *Neural blockade and management of pain*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1998).

Б. Гидрофобность (табл. 1.1). Способность местных анестетиков растворяться в водных (гидрофильных) и жировых (гидрофобных) средах варьирует. Различия по гидрофобности возникают в первую очередь как следствие различий типов химических групп связывания с четвертичными аминами (рис. 1.1). Заряженная форма любого местного анестетика более гидрофильна, чем соответствующая незаряженная форма. Гидрофобный характер часто обозначают как *жирорастворимость* — что не точно. Более выраженная гидрофобность коррелирует с более выраженной мощностью местного анестетика и длительностью его действия (см. Раздел V. А и гл. 2).

1. Гидрофобность определяется добавлением местного анестетика в сосуд, содержащий две несмешиваемых жидкости — водного буфера и гидрофобного «липид». Липиды обычно выбирают так, чтобы замаскировать гидрофобный характер липидных мембран клеток; часто используют октанол, оливковое масло и n-гептан. Местный анестетик добавляют в сосуд и встряхивают для «перемешивания» двух жидкостей. Раствору дают отстояться и жидкостные фазы сепарируют. После разделения измеряют концентрацию в водной и липидной фазах. Полученное соотношение концентраций называется «коэффициент распределения», что часто не вполне правильно понимают как «жирорастворимость».

2. Важно отметить, что коэффициент распределения, определенный таким образом, будет существенно варьировать в зависимости от:

а) pH водной фазы, поскольку она будет определять, какая часть местного анестетика заряжена (более гидрофобна) или не заряжена (более гидрофильна). Значение pH 7,4 типично, и полученный в результате коэффициент распределения называется *коэффициент распределения*. Коэффициент распределения обычно измеряют, используя местный анестетик, основание и водную фазу pH со значительно более высокой pK_a , чем у препарата, что обеспечивает отсутствие заряда в большей части местного анестетика;

б) используемого **липид**. Различные липиды будут давать очень разные коэффициенты распределения и значения, полученные в системе одного растворителя нельзя сравнивать со значениями другой системы. Обращение к «жирорастворимости» препарата без уточнения системы, в которой она определена, будет информацией неполной;

в) **формы местного анестетика** (основание или соль). Таблицы, в которых просто указана «жирорастворимость» местных анестетиков без информации о том, как она была определена, не всегда полезны. В табл. 1.1 коэффициенты распределения местных анестетиков приведены для хлоридных солей местных анестетиков в октанолу и буфере при pH 7,4 (октанол: буфер_{7,4}).

В. Связывание с белками. Связывание с белками плазмы варьирует от 5% до 95% (табл. 1.1). В целом более гидрофобные препараты обладают более высоким связыванием с белками. Фактически свойства препарата, иногда относимые на счет степени «связывания с белками», по-видимому, связаны с его гидрофобностью. Есть ли какие-либо взаимоотношения между связыванием с белками плазмы и белками тканей — неизвестно, и их можно не принимать во внимание.

1. α_1 -кислый гликопротеин и альбумин — основные белки плазмы, с которыми связываются местные анестетики. Связывание с этими белками зависит от pH и снижается при ацидозе, поскольку количество способных к связыванию точек в кислой среде снижается.
2. В плазме есть несвязанные, или «свободные», фракции местного анестетика, которые способны выходить из плазмы и попадать в другие органы, такие как мозг или сердце. Именно эти свободные фракции ответственны за системную токсичность.
 - а. Пациенты с низкой концентрацией белков (например, при нутритивной недостаточности, циррозе, нефротическом синдроме) имеют более высокий риск системной токсичности, чем пациенты с нормальной концентрацией белка в плазме и пациенты с высокой концентрацией белка в плазме (например, некоторые формы рака), которые обеспечивают себе дополнительную степень защиты [1].

IV. Натриевый канал и проводимость по нерву

- А. **Структура натриевого канала** (рис. 1.2). Натриевый канал млекопитающих — **трансмембранный белок**, состоящий из трех субъединиц, формирующих чувствительный к потенциалу, натрий-селективный канал через нейрональную мембрану. К настоящему времени идентифицировано десять отдельных генов человека, в которых закодированы десять структурно отличных натриевых каналов. Различные формы представлены в разных тканях (например, мышцах, сердце, центральной и периферической нервной системе). Возможно, существуют мутации, которые повышают или понижают чувствительность к местным анестетикам (такого рода индуцируемые мутации были получены в экспериментальных системах [2, 3]), но в настоящее время клинических подтверждений этому не найдено.
- Б. **Проводимость**. В покое нейроны поддерживают электрохимический градиент вокруг своих мембран, поскольку Na^+/K^+ -АТФаза (аденозинтрифосфатаза) закачивает три иона Na^+ из аксоплазмы на каждые два иона K^+ , закачанные в нее. Это значит, что внутренняя среда аксона относительно отрицательно заряжена (от -50 до -90 мВ) и натрия в ней меньше по сравнению с внешней средой (рис. 1.2). При достаточной «стимуляции» нерва натриевые каналы в очень локальной зоне нервной мембраны открываются, таким образом позволяя ионам Na^+ перемещаться в соответствии с их градиентом внутрь аксона и локально «деполяризовать» аксональную мембрану. Если размах деполяризации превышает «порог» (т. е. трансмембранный потенциал снизился достаточно), индуцируется открытие натриевых каналов в прилежащей мембране (это и означает «чувствительность к потенциалу»), что, в свою очередь, индуцирует открытие натриевых каналов, расположенных еще дальше. Таким образом деполяризация распространяется вниз по аксональной мембране, формируя потенциал действия.
- В. **Реполяризация**. Через несколько миллисекунд натриевый канал инактивируется зависимым от времени изменением конформации, которое «закрывает» ворота (рис. 1.2). В **инактивированном состоянии** натриевый

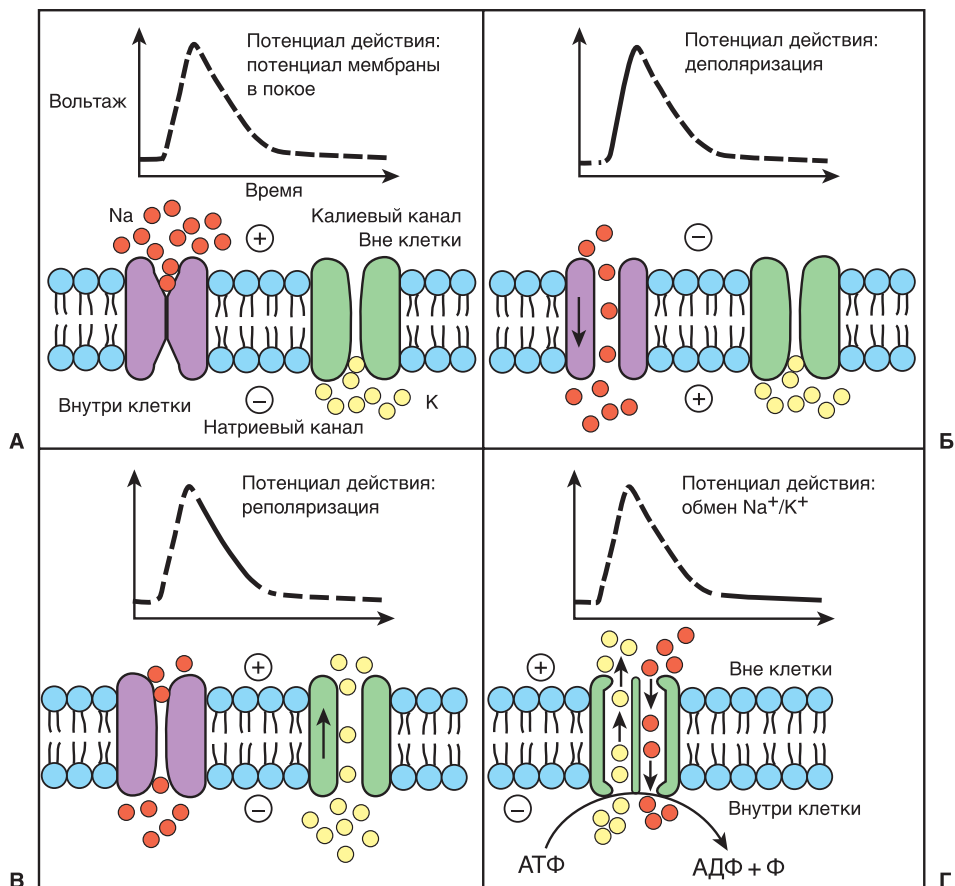


Рис. 1.2. Функция натриевых и калиевых каналов и перемещения иона во время деполяризации нерва. **А:** В покое натриевый канал закрыт: во внеклеточном пространстве создается относительный избыток ионов натрия (*коричневые кружки*) и относительный избыток ионов калия во внутриклеточном пространстве (светлые кружки). Поскольку на каждые три положительно заряженных иона натрия во внеклеточном пространстве приходится приблизительно два заряженных иона калия во внутриклеточном пространстве, последнее отрицательно заряжено (от -50 до -90 мВ) относительно внеклеточного. **Б:** После достаточной стимуляции потенциал-зависимая конфигурация натриевых каналов меняется на открытую и ионы натрия устремляются по своему электрохимическому градиенту внутрь нейрона, что приводит к деполяризации. **В:** На пике потенциала действия конфигурация натриевого канала спонтанно меняется на неактивное состояние, которое препятствует дальнейшему поступлению натрия и рефрактерно к попыткам повторного открытия в ответ на стимул. Одновременно ворота калиевых каналов открываются и калий устремляется по своему электрохимическому градиенту, компенсируя отрицательный заряд внутри относительно внеклеточной среды (реполяризация). **Г:** Калий-натриевый насос (Na^+/K^+ -АТФаза) обменивает три внутриклеточные молекулы натрия на каждые две внеклеточные молекулы калия, таким образом восстанавливая потенциал покоя мембраны и продвигая натриевый канал к закрытой конфигурации. АДФ, аденозиндифосфат; АТФ, аденозинтрифосфат; Ф, фосфат. (Адаптировано из: Barash K, Clitten S. Clinical anesthesia, 3rd edition)

[. . .]